Aus dem physiologischen Institut Würzburg.

Versuche zur Frage der thermischen Erregung.

INAUGURAL-DISSERTATION

verfaßt und der

Hohen medizinischen Fakultät

der

Kgl. Bayer. Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt von

Anton Mayer.

München.
Druck von R. Oldenbourg.
1912.

Aus dem physiologischen Institut Würzburg.

Versuche zur Frage der thermischen Erregung.

INAUGURAL-DISSERTATION

verfaßt und der

Hohen medizinischen Fakultät

der

Kgl. Bayer. Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt von

Anton Mayer.

München.
Druck von R. Oldenbourg.
1912.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät der Universität Würzburg.

Referent: Herr **Prof. Dr. von Frey.**

Versuche zur Frage der thermischen Erregung.

Von

Anton Mayer.

(Mit 8 Textfiguren.)

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung S. 3.
I. Verbrühung der Muskeln durch Eintauchen in heiße Ringerlösung. Verfahren von Jensen S. 6.
Versuche mit Rohrzuckermuskeln S. 8.
II. Verbrühung mit strömendem Dampf S. 9.
1. Verhalten unvergifteter Muskeln S. 11.
2. Versuche mit kuraresierten Muskeln S. 13.
3. Versuche mit gelähmten Muskeln S. 15.
A. Lähmung durch Alkohol S. 15.
B. Lähmung durch Rohrzucker S. 16.
4. Einfluß der Temperatur bezw. der Dauer der Verbrühung S. 17.
5. Einfluß der Spannung S. 17.
6. Färbung der teilweise verbrühten Muskeln S. 19.
Zusammenfassung S. 20.

Einleitung.

Es ist eine altbekannte Erfahrung, daß durch die Wärmestarre die Zugfestigkeit des Muskels bedeutend herabgesetzt wird. C. Ludwig[1]) hat die Herzen gekocht, die er zerfasern wollte, und er ist darin den älteren Vorschriften von E. H. Weber gefolgt.

Das Verhalten wärmestarrer Muskeln gegenüber dehnenden Kräften ist dann genauer von Gotschlich und insbesondere von Brodie und Richardson untersucht worden. Letztere fanden, daß das Muskelpaar Gracilis-Semimembranosus durch ein Gewicht von 250 g an der bei Temperaturen zwischen 30 und 40° eintretenden Starreverkürzung gehindert werden kann,

[1]) Siehe das Literaturverzeichnis am Schlusse.

und berechneten die spezifische Spannung für diese Muskeln, sowie für den Sartorius unter entsprechenden Versuchsbedingungen zu 10—20 g pro qmm. Für frische und ungeschädigte Sartorien fanden dagegen G. Weiß und Carvallo die absolute Kraft gleich der Zugfestigkeit = 50 g pro qmm. Brodie

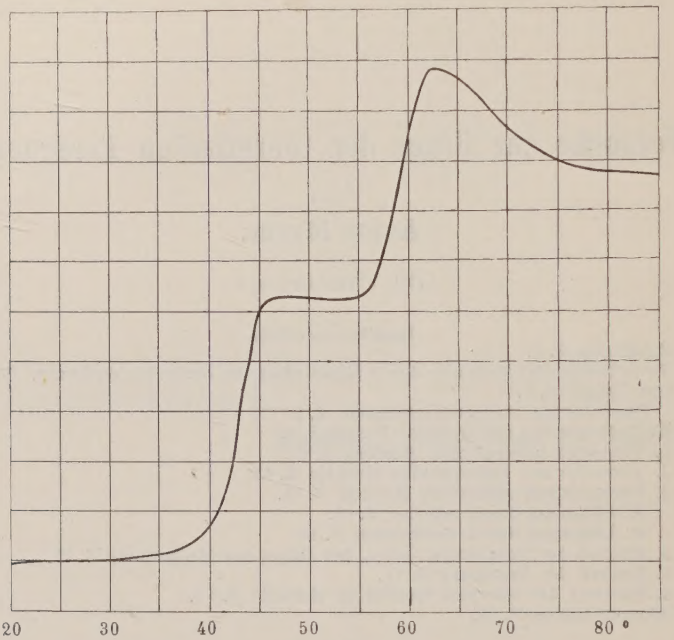

Fig. 1.

Stufen der Wärmestarre eines Gastrocnemius von R. esculenta in 3facher Vergrößerung (Inagaki). Verkürzungen des Muskels sind nach oben, Verlängerungen nach unten] geschrieben.

und Richardson heben hervor, daß oberhalb 50° die Zugfestigkeit des Muskels stark abnimmt und hiermit stimmen auch die Erfahrungen von Reißner und Inagaki überein, die selbst bei einer Spannung von wenig über 1 g zwischen den einzelnen Stufen der Wärmestarre Verlängerungen des Muskels beobachteten. Ich teile obenstehend eine Kurve der Wärmestarre eines Gastrocnemius (Rana esculenta) mit, die mir von Herrn Prof. v. Frey zur Verfügung gestellt worden ist. Sie zeigt in den Pausen zwischen den Starreverkürzungen Verlängerungen des Muskels, besonders deutlich oberhalb 62°. Die Erscheinung

ist nicht immer so stark ausgeprägt, wie in dem vorliegenden Falle, wird aber niemals vermißt. v. Frey hat in Nagels »Handb. der Physiol.« Bd. 4 S. 460 das Verhalten des teilweise wärmestarren Muskels mit folgenden Worten geschildert:

»Die Dehnbarkeit ist verringert, Elastizitäts- und Festigkeitsgrenze stark herabgesetzt; infolge dieser Eigenschaften läßt sich die Verkürzung durch Wärmestarre nur bei geringer Belastung deutlich beobachten. Bei Spannungen von 16—20 g pro qmm wird die Verkürzung völlig verhindert. Der Eintritt der Wärmestarre äußert sich dann nicht durch eine Verkürzung, sondern durch eine Verlängerung des Muskels, die bald in Zerreißung übergeht..... Werden Muskeln für sehr kurze Zeit in heißes Wasser getaucht, wie dies Wundt getan hat, so werden nur die oberflächlichen Fasern wärmestarr und kurz; die Last wirkt dann auf einen kleineren Querschnitt, woraus die Überschreitung der Festigkeitsgrenze begreiflich wird.«

In neuerer Zeit hat Jensen das Verhalten von Muskeln untersucht, die er für kurze Zeit in heiße Flüssigkeiten (Quecksilber, Öl, Wasser, Ringer-Lösung) eintauchte. Er vergleicht dabei die beobachteten Längenänderungen des Muskels mit den Zuckungen eines ermüdeten Muskels auf elektrische Reize und spricht von »thermischen Zuckungen«; in den aufsteigenden Ast der Kurven mischen sich zuweilen noch »autoelektrische« Erregungen, wenn durch eine leitende Flüssigkeit die Ausbreitung der Demarkationsströme begünstigt wird.

Es hat wenig Ansprechendes, die Längenänderungen, welche Muskeln nach kurzdauernder Verbrühung zeigen, als »Zuckungen« zu erklären. Vorläufig muß die Zuckung — wenigstens am frischen Muskel — als ein Vorgang aufgefaßt werden, der wohl in seiner Höhe, nicht aber in seinem zeitlichen Verlauf von der Spannung sowie von der Intensität des Reizes abhängig ist. Im Gegensatz hierzu sind die Längenänderungen bei der Verbrühung auch des frischen Muskels in hohem Maße von dem zeitlichen Verlauf und dem Grade der Temperatur abhängig (Jensen S. 446 u. 455), ferner von der Spannung, unter der er steht (s. u.). Gegen die Auffassung der Erscheinungen als Erregungsvorgänge spricht

auch die Beobachtung, daß die Formänderung des Muskels sich im allgemeinen nur auf den von der Verbrühung unmittelbar betroffenen Teil beschränkt und nicht auf die ganze Faserlänge übergreift.

Man kann also die Frage, ob es thermische Erregungen gibt und in welcher Weise sie etwa in die Erscheinung treten, noch keineswegs als erledigt betrachten, und ich bin, durch Herrn Prof. v. Frey auf die Sachlage aufmerksam gemacht, gerne der Aufforderung gefolgt, hierüber einige Versuche anzustellen.

I. Verbrühung der Muskeln durch Eintauchen in heiße Ringerlösung.

Verfahren von Jensen.

Die Versuche wurden mit nicht kurarisierten Sartorien von Wasser- und Landfröschen angestellt; wesentliche Unterschiede zwischen den beiden Arten ergaben sich nicht. Sartorien von Landfröschen schienen ebenso wie auf elektrische Reize, auch auf thermische Einwirkungen empfindlicher zu reagieren. Schwellen- und Maximalreiz (Öffnungsschläge) wurden stets vor und nach jeder Erwärmung bestimmt. Als Tauchflüssigkeit diente Normal-Ringerlösung oder 6proz. Rohrzuckerlösung von 42—80°. Die Muskeln wurden entweder frisch (unmittelbar nach der Präparation) oder nach 1—22stündigem Verweilen in Ringerlösung (von 4—6°) verwendet. Bei Einhaltung gleicher Versuchsbedingungen entspricht die Form der Kurven den von Jensen mitgeteilten. Da mit mehr als doppelter Trommelgeschwindigkeit gearbeitet wurde, erscheinen die auf- und absteigenden Schenkel gedehnter als bei ihm, die Gipfel mehr gerundet.

Die Wärmeverkürzung erreichte (bei 3facher Hebelvergrößerung) Werte bis zu 55 mm; sie war fast stets größer als die Zuckungshöhe bei maximalem Öffnungsschlag. Als Beispiel diene Fig. 2. In weitaus der Mehrzahl der Versuche konnte der Muskel die Ausgangslänge nicht wiedergewinnen; selbst Verbrühungen geringen Grades führen zu einer Dauerverkürzung, deren Größe wächst mit der Steigerung der Temperatur und mit der Dauer ihrer Einwirkung. Für die Beurteilung der Wärmeverkürzung

scheint mir ferner wichtig die Beobachtung, daß bei annähernd gleicher Erwärmungsdauer die zweite Einwirkung nur dann eine der ersten ähnliche Kurve ergibt, wenn eine längere Pause eingeschaltet wird. Folgt die zweite Erwärmung in kurzem Intervall, so fällt nicht nur die vorübergehende sondern auch die bleibende Verkürzung erheblich größer aus; zugleich sinkt die elektrische

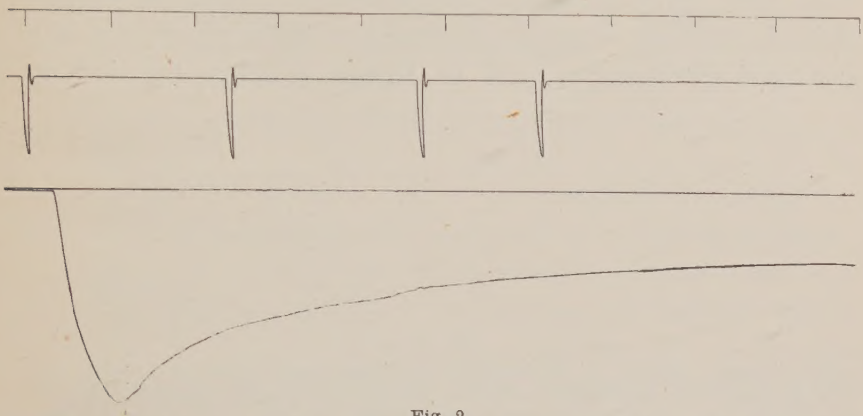

Fig. 2.
Oben: Sekundenmarken. Mitte: Zuckungen eines Sartorius auf maximale Öffnungsschläge. Unten: Längenänderung desselben Muskels auf kurzdauernde Verbrühung (Eintauchen in Ringerlösung von 70° für einige Zehntelsekunden). 1/3 des Originals. Die Verkürzungen des Muskels sind nach unten, die Verlängerungen nach oben geschrieben.

Erregbarkeit bedeutend, der Muskel kann sogar völlig unerregbar werden.

Der Schwellenwert war nach der Wärmeeinwirkung sehr oft etwas erniedrigt, der Maximalreiz mußte zumeist stärker gewählt werden; im Stadium der Wiederverlängerung traten wiederholt fibrilläre Zuckungen auf.

Entstellungen der Kurve durch den Auftrieb in der Flüssigkeit sollen nach Jensen nur beim Ein- und Austauchen in Quecksilber auftreten; ich fand sie aber auch bei Verwendung von Ringerlösung recht störend, besonders wenn mit geringen Spannungen des Muskels gearbeitet wurde.

Statt der Längenkurven habe ich häufig auch Spannungskurven von dem verbrühten Muskel schreiben lassen. Eine kurze Blattfeder diente hierbei als Spannungsschreiber. Nach Prüfung

der elektrischen Erregbarkeit des Muskels (Schwellenwert und Maximalreiz) und Eichung der Schreibvorrichtung auf die Spannungen von 10 zu 10 g wurde der Muskel zunächst durch maximale Öffnungsschläge gereizt, alsdann (nach Abklingen der Erregung) rasch in Ringerlösung von 70° versenkt. In dem Versuch vom 14. III. 1911 (Fig. 3) erreichen die Spannungszuckungen einen Wert von 16 g; die Spannungskurve des verbrühten Muskels steigt im Verlaufe von 2½ Sekunden auf ein Maximum von 24 g und sinkt sehr langsam gegen die Abszisse ab, ohne diese jedoch,

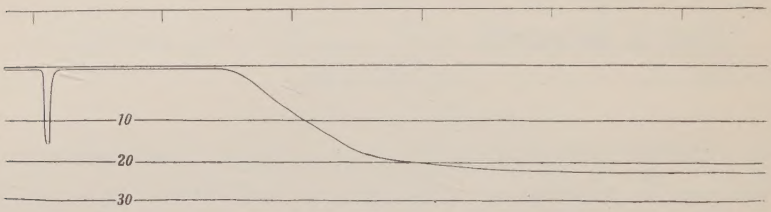

Fig. 3.

Oben Sekunden, darunter die Horizontalen des Spannungsschreibers für 0, 10, 20 und 30 g Spannung. Die eingeschriebene Kurve zeigt den Verlauf einer maximalen Zuckung und anschließend, einer Verbrühung durch Ringerlösung von 70° für die Dauer von etwa ½ Sekunde. ⅔ des Originals.

trotz Abkühlung in Ringerlösung von 18°, selbst nach 5 Minuten wieder zu gewinnen. Das Ergebnis aus den Versuchen mit dem Spannungsschreiber läßt sich dahin zusammenfassen: Je höher die Spannung, um so langsamer ist der Anstieg, um so niedriger der Gipfel, und um so rascher strebt der absteigende Schenkel wieder der Null-Linie zu.

Versuche mit Froschsartorien, deren elektrische Erregbarkeit für maximale Öffnungs- und Schließungsschläge nach ¾stündigem Verweilen in 6proz. Rohrzuckerlösung vollkommen erloschen ist, ergeben keine wesentlichen Verschiedenheiten gegenüber frischen Muskeln: der Anstieg der Kurve ist weniger steil, der Gipfel mehr gerundet, der Abstieg deutlich verzögert. Der Rohrzuckermuskel reagiert mit einer gewissen Trägheit auf thermische Einwirkungen.

Die namentlich bei schwacher Spannung stets zu fürchtenden Störungen des Kurvenverlaufes durch den Auftrieb, sowie die Schwierigkeit, die Schnelligkeit, Dauer und Tiefe des Eintauchens

in die heißen Flüssigkeiten auch nur einigermaßen mit Sicherheit zu beherrschen, veranlaßten mich, nach einem anderen Verfahren zu suchen, das ich im folgenden beschreiben werde.

II. Verbrühung durch strömenden Dampf.

Als Versuchsobjekt diente ausschließlich der Musc. sartorius von Rana fusca oder Rana esculenta; die Muskeln wurden teils kurarisiert, teils unvergiftet verwendet. Die Sartorien wurden sofort nach ihrer Isolierung in mit Sauerstoff gesättigte Ringerlösung übertragen und im Eisschrank mehrere Stunden bis 1½ Tage aufbewahrt. Die Versuchsanordnung ist aus Fig. 4 (S. 10) zu ersehen: Der Muskel *S* wird mit dem tibialen Sehnenende an den starken Platindraht *H* geknüpft, welcher in das untere Ende des gläsernen Rohrstutzens eingeschmolzen ist und bis in die Mitte des Querschnittes vorragt. Die Verbindung mit dem Schreibhebel *A* wird durch einen feinen Faden hergestellt, der am Beckenende des Muskels, d. h. an dem dort belassenen Knochenstückchen befestigt ist. Schnürt man, wie dies J e n s e n für zweckmäßiger hält, die breite Ansatzsehne direkt ab, so treten namentlich bei frischen Landfröschen, regelmäßig fibrilläre Zuckungen auf, die erst nach geraumer Zeit (10—12 Minuten) wieder verschwinden. Da bei Verwendung des Knochenstückchens solche Zuckungen so gut wie nie zu beobachten sind, so wird man sie auffassen müssen als Ausdruck der mechanischen Schädigung durch die Umschnürung.

Vor und nach jeder Wärmeeinwirkung wird die elektrische Erregbarkeit (der Schwellen- und Maximalwert in Zentimeter Rollenabstand) bestimmt; die elektrischen Reize (Öffnungs- und Schließungsschläge der sekundären Spule des Induktoriums) werden durch einen Platindraht von 0,05 mm Dicke zugeleitet, der in das obere Ende des Präparates mit eingebunden ist.

Als Schreibvorrichtung dient ein äußerst leichter, einarmiger Hebel *A* (Strohhalm), dessen genaue Einstellung auf die Horizontale durch die Schraubenmutter *M* ermöglicht ist; die Aufschreibung geschieht in 3facher Vergrößerung. Die Spannung des Muskels läßt sich durch Anhängen verschiedener Gewichte *G*

ganz nahe der Hebelachse in weiten Grenzen (1—25 g) leicht verändern.

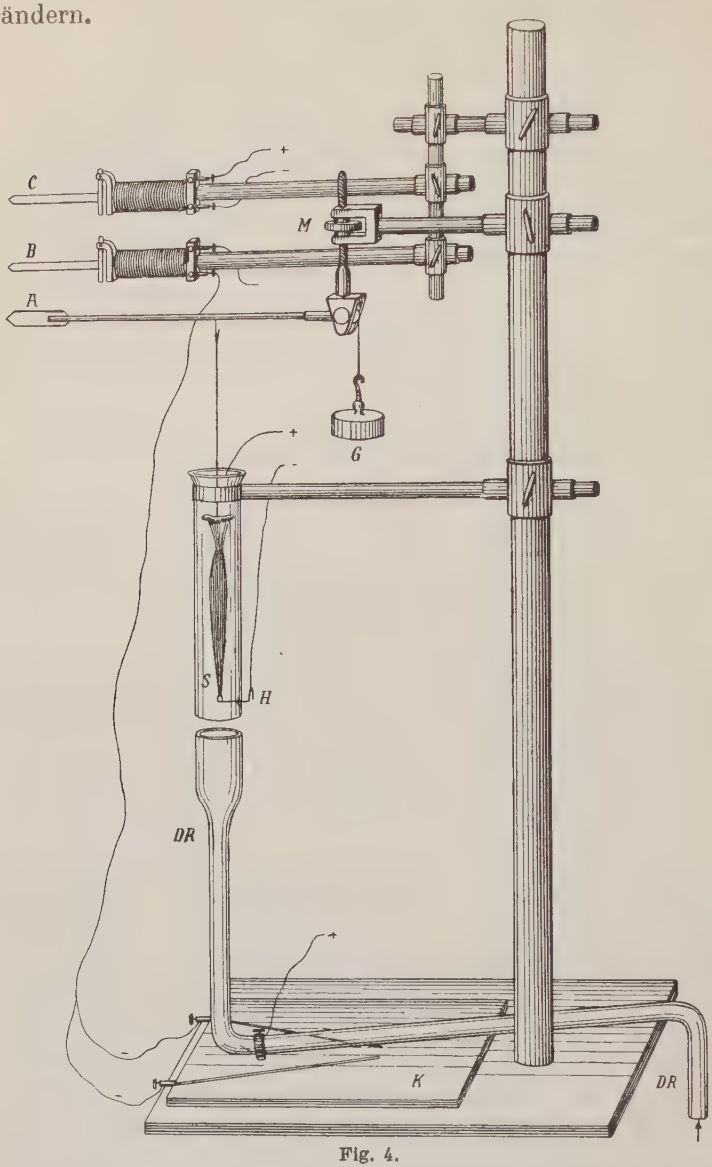

Fig. 4.

Als Wärmeüberträger wurde, nachdem Versuche mit einer Heizspirale (nach Th. W. Engelmann) nicht befriedigt hatten, heißer Dampf gewählt, der einem Papinschen Kochtopfe ent-

strömt. Zugunsten der Anwendung heißen Dampfes spricht die hohe spezifische Wärme, das besonders gute Wärmeleitungsvermögen, die bedeutende Strömungsgeschwindigkeit, die eine plötzliche starke Temperaturänderung gestatten.

Der Dampf tritt durch den Hahn des verschraubten Deckels in das 60 cm lange Glasrohr *DR* (von 12 mm lichter Weite), das 5 cm vom oberen Ende entfernt auf 20 mm sich erweitert; in dem erweiterten Teil steckt ein Pfropf Glaswolle, welcher den Dampfstrahl gleichmäßig verteilt und kleinere Wasserteilchen abfängt; größere Wassertröpfchen schlagen sich von selbst in dem langen, zweimal rechtwinkelig gebogenen Rohre nieder.

Das Dampfrohr *DR* ist mittels Schlauchstück so auf den Hahn gedichtet, daß es um die durch den Pfeil angedeutete senkrechte Achse gedreht werden kann, wobei das horizontale Rohrstück über das Kontaktbrett *K* gleitet und das erweiterte obere Ende in einem Abstande von nur 1 mm unterhalb der Muskelkammer vorbeistreicht.

Die Markierung der Einwirkungsdauer geschieht auf elektrischem Wege. In das Bodenbrett *K* sind zwei im spitzen Winkel auseinanderlaufende Messingdrähte mit Klemmen eingelassen, die beide unter Vermittelung des Markiermagnets *B* (oberhalb des Muskelhebels *A*) mit dem einen Pol eines Akkumulators verbunden sind, während die Leitung von dem anderen Pol zu einem Ringe mit Schneide führt, der auf das horizontale Stück des Rohres *DR* aufgeschoben ist. Das Brett *K* ist auf der Grundplatte des Stativs so befestigt, daß der erste Kontakt der Stellung von *DR* entspricht, bei welcher der Dampf eben in die Muskelkammer einzuströmen beginnt, der zweite Kontakt dem Ende des Einströmens.

Ein Zeitschreiber *C* zeichnet auf der mit konstanter Winkelgeschwindigkeit rotierenden Trommel Sekundenmarken.

Ich gehe nun über zur Beschreibung der einzelnen Versuchsgruppen.

1. Verhalten des unvergifteten Muskels.

Aus einer Reihe unter gleichen Bedingungen mit demselben Ergebnis angestellten Versuchen sei nur folgender als Typus beschrieben und abgebildet (Versuch vom 4. VII. 1911 Fig. 5 u. 6):

Der Sartorius eines ganz frischen, kräftigen Landfrosches wird 2½ Stunden in Sauerstoff gesättigter Ringerlösung im Eisschrank aufbewahrt. Um 8 h wird der Muskel in seine Kammer gebracht. Um 8 h 35′ ergibt die Prüfung der elektrischen Erregbarkeit einen Schwellenwert von 11,2 cm, einen Maximalwert von 7,8 cm Rollenabstand; die Spannung ist 1 g, die Hebelvergrößerung 3fach, die Zuckungshöhe 26 mm.

Nach 1stündigem Verweilen in der zimmerwarmen Ringerlösung (20°) wird der Muskel um 9 h 35′ dem Dampfstrahl ausgesetzt. Der Abstand der beiden Zeitmarken beträgt 6 mm, die Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel 24 mm/Sek., die Einwirkungsdauer somit 0,25 Sekunden. Der Muskel verkürzt

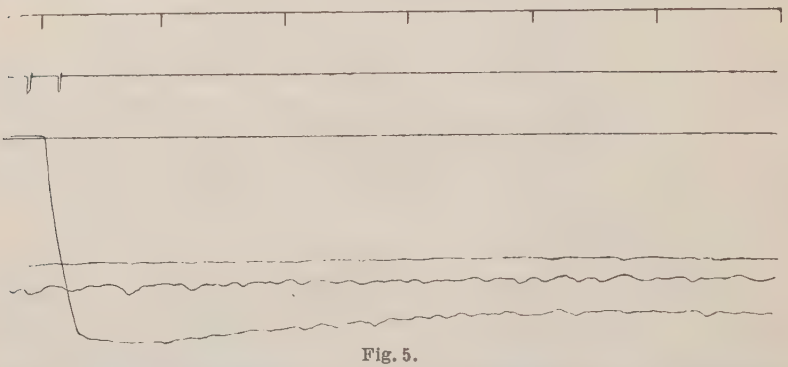

Fig. 5.

Versuch 4. VII. 11, erste Verbrühung. Oben: Sekundenstriche. Mitte: Registrierung der Dauer des Dampfstrahls. Unten: Ausschnitte aus der über drei Trommelumläufe sich erstreckenden Muskelkurve. 3/8 des Originals.

sich in einem Zuge um 40 mm in 0,1 Sekunden und dann allmählich in weiteren 0,6 Sekunden noch um 2 mm; hierauf beginnt ein langsamer Rückgang, so daß nach zwei Umläufen der Trommel (40 Sekunden) der Hebel 25 mm, nach 5 bzw. 15 Minuten noch 19 bzw. 17 mm von der Ausgangslinie entfernt steht. Auf dem flachen Gipfel sowie während des langsamen Rückganges zeigt die Kurve durch etwa 50 Sekunden beständige Schwankungen, die, wie die Betrachtung des Muskels lehrt, als fibrilläre Zuckungen aufzufassen sind. Man kann den ganzen Vorgang als einen durch die Verbrühung ausgelösten unter-maximalen Tetanus bezeichnen, der aufgesetzt ist auf eine sehr beständige, durch teilweise Wärmestarre erzeugte Verkürzung.

Beim Eintauchen in Ringerlösung von 20° tritt eine deutliche Zuckung auf.

Um 9 h 58′ wird die elektrische Erregbarkeit wieder bestimmt: Schwellenreiz bei 12,4, Maximalreiz bei 7,6 cm Rollenabstand; Zuckungshöhe 28 mm; Spannung und Hebelvergrößerung wie vorher.

Um 10 h 25′ folgt die zweite Dampfeinwirkung: die Dauer beträgt diesmal $^1/_6$ Sekunde (= 4 mm), die Verkürzung 20 mm.

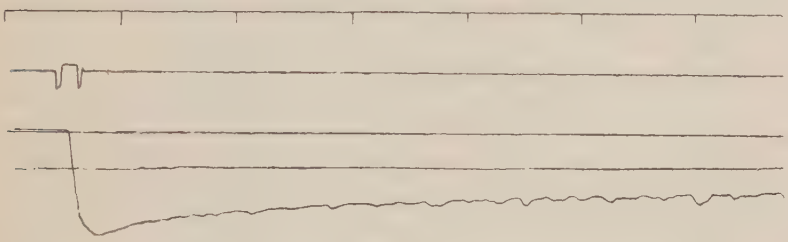

Fig. 6.
Derselbe Versuch, zweite Verbrühung. Die Muskelkurve (unten) erstreckt sich nur über zwei Trommelumläufe. Die beiden oberen Linien sind wie in Fig. 5 zu lesen. $^2/_3$ des Originals.

Der Gipfel dieser zweiten Kurve ist schmäler, die Wiederverlängerung tritt schneller ein; die fibrillären Zuckungen sind wiederum recht zahlreich, verschwinden aber bereits nach einem Trommelumlauf. Nach 5 Minuten steht die Hebelspitze noch 6 mm, nach 15 Minuten 1,5 mm von der neuen Null-Linie entfernt. 10 h 45′ Schwellenwert 11,4, Maximalwert 7,9 cm Rollenabstand, Zuckungshöhe 28 mm.

Das Ergebnis des Versuches läßt sich dahin zusammenfassen: Jede thermische Einwirkung löst eine Verkürzung des Muskels aus, deren Höhe hauptsächlich von der Dauer der Verbrühung abhängt. Die Wiederverlängerung des Muskels erfolgt um so schneller und vollkommener, je kürzer der Dampf eingewirkt hat. Die Wärmeeinwirkung hat eine Erniedrigung der Schwelle zur Folge, der Maximalreiz bleibt konstant oder ist etwas erhöht.

2. Versuche mit Kuraremuskeln.

Als Beispiel möge der Versuch vom 10. VII. 1911 dienen:

Um 9 h 50′ wird einem Landfrosch mittlerer Größe 1 ccm einer 1proz. Kurarelösung unter die Rückenhaut injiziert; nach 20 Minuten reagiert das Tier auf Kneifen der Extremitäten noch ganz schwach, nach weiteren 5 Minuten ist die Lähmung vollständig. Unmittelbar nach der Präparation

werden die Sartorien (in Ringerlösung ohne Zusatz von Kurare) in den Eisschrank gestellt.

Nach Verlauf einer Stunde wird Muskel *A* auf seine elektrische Erregbarkeit geprüft: Schwellenwert 14,3, Maximalreiz bei 7,4 cm Rollenabstand. Die Spannung beträgt 2 g, die Hebelvergrößerung ist eine 3fache, die Zuckungskurve erreicht eine Höhe von 29 mm.

12 h 05′ wird der Muskel der Wirkung des Dampfstrahles ausgesetzt, die Dauer berechnet sich auf $^1/_6$ Sekunde.

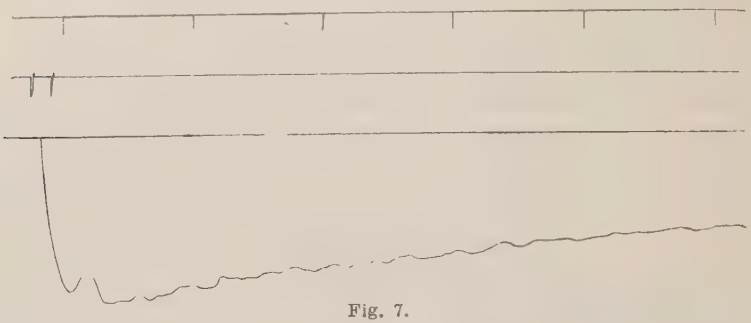

Fig. 7.
Verbrühung eines kurarisierten Sartorius. Der Dampfstrahl wirkt 0,16 Sekunden auf den Muskel. $^1/_2$ des Originals.

Der Anstieg der Kurve (Fig. 7) ist außerordentlich steil, der Gipfel hoch (34 mm) und doppelt; im Stadium der Wiederverlängerung tritt wieder eine ganze Reihe fibrillärer Zuckungen auf; erst nach 10 Sekunden gewinnt der absteigende Ast eine glatte Form. Die Hebelspitze hat sich nach 3 Minuten der Null-Linie bis auf 10 mm genähert, nach 10 Minuten verharrt sie noch in 4,5 mm Entfernung.

Die Bestimmung der elektrischen Erregbarkeit (12 h 22′) ergibt folgende Größen: Schwellenreiz bei 13,2, Maximalreiz bei 6,6 cm Rollenabstand; bei gleicher Spannung und Hebelvergrößerung mißt die Zuckungshöhe 21 mm.

Um 12 h 38′ folgt die zweite und 1,5 Sekunden später die dritte Dampfeinwirkung (Dauer $= ^1/_5$ Sekunde). Die Höhe der zweiten Verkürzung beträgt nur 4 mm, die der dritten dagegen 44 mm; der Muskel ist stark kontrahiert, nicht mehr durchscheinend, sondern weißlich getrübt. Der Verkürzungsrückstand ist beträchtlich: nach 10 Minuten 36 mm, nach 3 Stunden immer noch 13 mm.

Der Versuch zeigt, daß bei genügend kurzem Intervall zwischen zwei Anwärmungen die Wirkung der zweiten Erwärmung durch die erste verstärkt wird, ohne Zweifel deshalb, weil die Temperatur des Muskels und der ihn einschließenden Glasröhre in der Zwischenzeit noch nicht wieder auf den Ausgangswert gesunken ist.

Der Muskel *B* desselben kurarisierten Landfrosches wird nach 5½ Stunden dem Eisschrank entnommen und in der Versuchsanordnung befestigt.

Um 4 h 30′ wird der Muskel in ein Becherglas mit 50 ccm Ringerlösung versenkt, welcher 10 Tropfen der 1proz. Kurarelösung zugesetzt sind.

Auf Öffnungsschläge reagiert der Muskel sehr gut: die Schwelle liegt bei 12,2 cm, der Maximalreiz bei 8,1 cm Rollenabstand; bei einer Spannung von 5 g erreicht die Zuckungskurve eine Höhe von 45 mm.

Um 5 h 15′ wirkt der heiße Dampf $^1/_8$ Sekunde lang auf den Muskel. Der Anstieg der Kurve ist verzögert, der Gipfel sehr breit und niedrig (nur 7 mm); im auf- und absteigenden Schenkel sind die fibrillären Zuckungen zwar erheblich kleiner, doch immerhin deutlich erkennbar. Schon nach 2 Minuten hat der Muskel seine frühere Länge wieder erreicht: die Bedeutung der kurz dauernden Dampfwirkung und der vermehrten Spannung tritt hier besonders klar hervor.

Um 5 h 20′ wird die elektrische Erregbarkeit wieder bestimmt: die Schwelle liegt etwas niedriger (12,4 cm), der Maximalwert ist kaum erhöht (8,0 cm); die Zuckungshöhe dagegen ist (bei gleicher Belastung von 5 g) auf weniger als die Hälfte gesunken (20 mm).

Die Dauer der zweiten Dampfeinwirkung (um 6 h) wird etwas länger (= $^1/_5$ Sekunde) gewählt als die der ersten (= $^1/_8$ Sekunde). Die Verkürzung (11 mm) erfolgt jetzt schneller, die Wiederverlängerung ist verlangsamt und unvollkommen: die Hebelspitze hat selbst nach 10 Minuten noch nicht die Abszisse wiedergewonnen. Der Schwellenwert ist etwas gestiegen (auf 12,1 cm).

Nach einer dritten thermischen Einwirkung (von 0,4 Sekunden Dauer) ist der Muskel völlig wärmestarr.

Die Versuche an kurarisierten Muskeln lehren, daß die fibrillären Zuckungen bedingt sind durch Reize, die im Muskel selbst entstehen, und durch die Verbrühung gesetzt werden. Die unmittelbare Ursache ist die Schädigung der Muskelfasern durch die hohen Temperaturen, die aber nur solange eine Reizwirkung hervorbringt, als sich elektromotorisch wirksame Gegensätze zwischen verletzten und unverletzten Muskelpartien ausbilden können. Daher die Beschränkung der fibrillären Zuckungen auf die erste oder die ersten Verbrühungen und ihr Schwinden mit zunehmender Schädigung der kontraktilen Elemente.

3. Versuche mit gelähmten Muskeln.

A. Versuche mit Muskeln, deren elektrische Erregbarkeit durch Alkohol aufgehoben ist.

Die Sartorien (von R. esculenta) wurden entweder sofort oder nach mehrstündigem Verweilen im Eisschrank in die Ver-

suchsanordnung gebracht und ihre Reizbarkeit für elektrische Öffnungsschläge bestimmt; dann wurden sie (durch Unterschieben eines Becherglases) in Normal-Ringerlösung mit einem Zusatz von 6 % Alkohol versenkt. In Pausen von 1—5 Minuten wurde die Erregbarkeit des Muskels durch Öffnungsschläge geprüft. Hierbei trat zunächst eine Steigerung der Erregbarkeit zutage, indem bereits nach einer Minute, bei einem Rollenabstand entsprechend dem Maximalreiz des frischen Muskels nicht wie bis dahin nur die Öffnungsschläge, sondern auch die Schließungsschläge wirksam wurden. Die lähmende Wirkung des Alkohols machte sich zumeist nach ¼ Stunde geltend; nach Verlauf von 30 Minuten waren die Muskeln auch für die stärksten Induktionsschläge (R.-A. = 0) unerregbar. Nunmehr wurden sie wiederholt der Dampfeinwirkung unterworfen.

Die Form der so gewonnenen Kurven ist in nichts von der normaler Muskeln unterschieden, mit der einzigen, aber wichtigen Ausnahme, daß fibrilläre Zuckungen niemals beobachtet werden. War die zwischen zwei Verbrühungen eingeschaltete Ruhepause zu kurz (bis zu 12 Sekunden) bemessen, so trat bei der zweiten die totale Wärmestarre ein, die sich kenntlich machte durch die maximale, bei schwacher Belastung sich nicht wieder lösende Starreverkürzung.

B. Versuche mit Rohrzuckermuskeln.

Nach Prüfung der elektrischen Erregbarkeit wurden die Muskeln in 6proz. Rohrzuckerlösung (auf 4° gekühlt) eingesenkt; wie in der Ringerlösung mit Alkoholzusatz zeigten sie auch in der Rohrzuckerlösung nach wenigen Minuten eine erhebliche Zunahme der Erregbarkeit für elektrische Reize; nach längstens 30 Minuten waren sie unerregbar.

Die Verkürzungen nach Dampfeinwirkung sind (genau wie nach Alkoholzusatz) durch einen glatten Kurvenverlauf ausgezeichnet; Verkürzung und Wiederverlängerung sind deutlich verlangsamt.

Als Ergebnis dieser Versuche ist die Feststellung zu betrachten, daß auch der gelähmte Muskel — mag nun seine elek-

trische Erregbarkeit durch Alkohol oder Rohrzucker aufgehoben sein — ganz wie der normale Muskel thermische Einwirkungen mit partiellen oder totalen Starreverkürzungen beantwortet. Besondere Beachtung verdient das Verschwinden der Fibrillationen.

4. Einfluſs der Temperatur des Dampfes bezw. der Dauer seiner Einwirkung.

Jensen gibt an, daß — gleiche Dauer der Wärmeeinwirkung vorausgesetzt — bei Steigerung der Temperatur die »Zuckungshöhe« zunimmt, die Crescente der Kurve steiler, die Decrescente flacher und gedehnter wird. Meine nach Jensens Methode gewonnenen Versuchsergebnisse stimmen mit diesen Angaben überein. Bei den Versuchen mit strömendem Dampf ist die Temperatur wenig wechselnd (85—90°) und nur dann etwas höher, wenn die Muskelkammer kurz vorher schon einmal durchströmt worden ist. Die Temperatur, welche der Muskel erreicht, richtet sich hier hauptsächlich nach der Dauer der Einwirkung des Dampfstrahls; dieselbe ließ sich zwischen 0,1—1,0 Sekunden beliebig verändern; zuweilen war die Dauer so kurz, daß der Muskel gar nicht reagierte. In weitaus der Mehrzahl der Versuche dauerte die Dampfeinwirkung $^1/_7$—$^1/_5$ Sekunde; bei 0,3 Sekunden Wirkungsdauer tritt häufig, bei noch längeren Zeiten regelmäßig, schon bei der ersten Verbrühung totale Wärmestarre ein. Der Kurvenanstieg weicht dann kaum von dem Kreisbogen ab, den der Hebel bei stillstehender Trommel schreibt; die Starreverkürzung erreicht hierbei maximale Werte.

5. Einfluſs der Spannung auf die Kurvenform.

In einer größeren Versuchsreihe wurde die Wirkung verschiedener Spannung untersucht; ihre Grenzwerte waren 1 und 20 g. Je geringer die Spannung, gleich starke thermische Einwirkung vorausgesetzt, um so steiler und höher ist der Anstieg, in welchem die Verkürzung mit anfangs wachsender, dann abnehmender Geschwindigkeit erfolgt. Je größer innerhalb gewisser Grenzen die Spannung gewählt wird, um so schneller und vollkommener tritt die Wiederverlängerung des Muskels ein. Bei genügender

Spannung (10—12 g) und kurzdauernder Erhitzung kann der Sartorius in wenigen Sekunden seine ursprüngliche Länge wieder erreichen. Dauern die Verbrühungen aber ¼ Sek. oder länger, so kommt es auch hier zu Verkürzungen, die nur unvollständig zurückgehen. Unter Umständen werden bei den höheren Spannungen auch Verlängerungen des Muskels beobachtet.

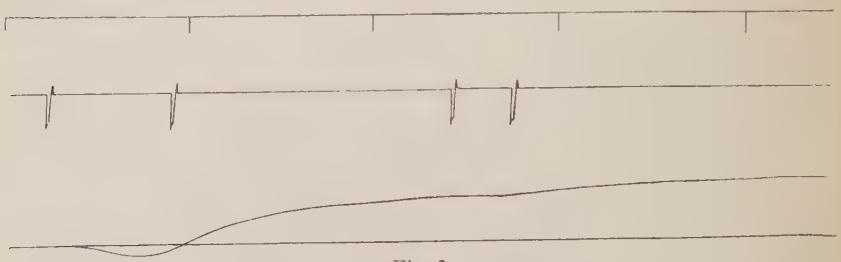

Fig. 8.
Zwei rasch sich folgende Verbrühungen von 0,68 und 0,32 Sek. Dauer, die zu Verlängerungen des Muskels führen. Größe des Originals.

Als Beispiel diene der Versuch vom 23. Juli 1911.

Der Sartorius einer R. fusca wird sofort nach seiner Präparation in die Versuchsanordnung gebracht und auf seine Erregbarkeit geprüft (10 h 40′). Die Schwelle wird bei 10,2, das Maximum bei 6,4 cm Rollenabstand gefunden; Kurvenhöhe 7,5 mm, Spannung 15 g.

Der Muskel verweilt nun in Ringerlösung bis 11 h 45′, zu welcher Zeit die 1. Verbrühung erfolgt. Sie dauert 0,25 Sekunden und führt zu einer Verkürzung des Muskels um 3 mm, die allmählich zurückgeht, aber nach 1 Minute noch 0,6 mm beträgt.

Die 2. Verbrühung erfolgt um 12 h, dauert 0,36 Sekunden und führt zu einer erst rasch, dann langsam wachsenden Verkürzung bis zu 15,5 mm Kurvenhöhe, die nach 5 Minuten auf 13, nach 10 Minuten auf 5 mm zurücksinkt.

Die Prüfung der elektrischen Erregbarkeit zeigt, daß sowohl der Schwellenreiz, wie der Maximalreiz gestiegen ist auf 8,3 bzw. 2 cm Rollenabstand. Die Zuckungshöhe beträgt nur noch 2—3 mm.

Die 3. Verbrühung geschieht um 12 h 30′, dauert 0,44 Sekunden und bringt eine Verkürzung des Muskels um 25 mm hervor, von welcher nach 15 Minuten noch 15 mm bleiben. Der Muskel ist nunmehr ziemlich vollständig wärmestarr, denn die nächste 4. Verbrühung von 0,5 Sekunden Dauer bringt nur eine ganz unbedeutende Verkürzung von 0,5 mm Höhe hervor. Die Wirkungen der unmittelbar folgenden 5. und 6. Verbrühung sind in Fig. 8 dargestellt. Die Dauer der beiden Verbrühungen ergibt sich aus den Marken der zweiten Linie von oben zu 0,68 bzw. 0,32 Sek. Die erstere führt zunächst zu einer Verkürzung um 1,5 mm, die aber sofort

in eine Verlängerung umschlägt, die durch die 6. Verbrühung noch verstärkt wird. Der Muskel stellt sich auf eine neue Länge ein, die 8 mm über der Ausgangslage liegt.

Der Versuch zeigt sehr deutlich die anfänglich mit der Dauer der Verbrühung wachsenden Verkürzungsbeträge, die freilich, infolge der hohen Spannung, verhältnismäßig geringfügig bleiben, und den Umschlag in Verlängerung, sobald alle oder doch der größte Teil der Fasern wärmestarr geworden sind. Eine weitere Eigentümlichkeit der Versuche mit hoher Spannung ist das Fehlen der oben beschriebenen Fibrillationen. Die Kurven sind durch ihren glatten Verlauf sofort als Kurven hoher Spannung zu erkennen.

Zuweilen kommt Verlängerung auch zur Beobachtung, wenn ein ganz frischer Muskel von der ersten Verbrühung getroffen wird. Bedingung ist eine nicht zu kleine Spannung und sehr kurze Dauer der Verbrühung. Die Schädigung wirkt dann nur auf die oberflächlichsten Fasern, die zwar zunächst infolge ihrer Erstarrung die Last etwas heben, bald aber von ihr gedehnt und zerrissen werden (vgl. Abschnitt 6). Die Last muß nun von einer kleineren Zahl von Fasern getragen werden, was zu einer Verlängerung des Muskels führt.

6. Färbung des teilweise verbrühten Muskels.

Wie Overton nachgewiesen hat, lassen sich lebende und tote Gewebszellen durch Tinktion mit wasserlöslichen, in Alkohol unlöslichen Farbstoffen unterscheiden. Ich brachte Sartorien, die nur einer einzigen kurzdauernden Verbrühung ausgesetzt waren, für einige Zeit in eine Lösung von Säurefuchsin (Rubin-S. Merck) in Ringerlösung (1 : 100), spülte die Muskeln mit Ringerscher Flüssigkeit ab und legte sie dann zur Härtung in Alkohol ein. Diese Muskeln zeigten sich an ihrem unteren, dem Dampfstrahl in erster Linie ausgesetzten Ende mehr oder weniger intensiv gefärbt. Den gleichen Versuch stellte ich mit unverbrühten Muskeln an: der Farbstoff wurde hier so gut wie vollkommen an die Spülflüssigkeit abgegeben.

Von den gefärbten, in Alkohol gehärteten Muskeln wurden Querschnitte mit dem Mikrotom angefertigt und in Xylolbalsam

eingeschlossen. Bei der mikroskopischen Untersuchung erscheinen nur die Faserbündel der Peripherie rot gefärbt, die inneren Bündel völlig farblos; dicke periphere Muskelbündel sind nur an ihrem Außenrande gefärbt.

Das Haematoxylin-Eosin-Präparat läßt auf Längsschnitten im Zentrum die wohlerhaltene Struktur der Muskelelemente, in der Peripherie scholligen Zerfall der Bündel erkennen.

Zusammenfassung.

Kurzdauernde Verbrühungen des Muskels durch heiße Flüssigkeiten oder strömenden Dampf bringen in der Regel Verkürzungen hervor, an denen nachweislich zwei verschiedene Vorgänge beteiligt sind.

Die eine Art von Verkürzungen entspricht der partiellen oder totalen Wärmestarre aller oder eines Teiles der Fasern des Muskels. Mechanisch äußert sich diese in Verkürzungen, die um so ansehnlicher sind, um so rascher entstehen, und um so langsamer rückgängig werden, je länger die Einwirkung der hohen Temperatur gedauert hat. Die Gesamtdauer der Umformung, die übrigens auch wesentlich von der Spannung abhängig ist, beträgt das Zehn- bis Vielhundertfache einer Zuckung. Je höher die Spannung, desto rascher und vollständiger kehrt der Muskel in seine Ausgangslage zurück. Spannungen über 15 g (für den Musc. sartor.) führen zu einer negativen Starreverkürzung, d. h. zu einer Verlängerung des Muskels meist nach vorgängiger Verkürzung.

Diese Form der Verkürzung tritt an gelähmten Muskeln so gut wie an frischen auf, sie gilt ebenso für die erste wie für eine nachfolgende Verbrühung, vorausgesetzt, daß der Muskel nicht schon völlig wärmestarr ist. Es ist nicht zweckmäßig, diese Art der thermischen Verkürzung als »Zuckung« zu bezeichnen.

Dauert die Einwirkung des strömenden Dampfes, wie in den meisten meiner Versuche, nur kurze Zeit (0,25 Sekunden und weniger), so werden nur die oberflächlichen Fasern des Muskels und diese vorwiegend am Knieende abgetötet und wärmestarr,

wie ich durch die nachträgliche Färbung und mikroskopische Untersuchung nachweisen konnte. Diese Fasern, welche bei ihrer Starreverkürzung das spannende Gewicht allein heben müssen, können dem Zuge desselben nicht lange widerstehen, sie werden gedehnt bzw. zerrissen, und so entsteht der Anschein einer Restitutio ad integrum, eines Schwindens der Starreverkürzung. Die Überschreitung der Festigkeitsgrenze in den wärmestarren Fasern zeigt sich darin, daß bei genügend hoher Spannung (für den Sartorius 15—20 g) der Muskel nach der Verbrühung seine Ausgangslänge überschreitet, weil das Gewicht nunmehr von einer kleineren Zahl noch leistungsfähiger Fasern getragen werden muß und die spezifische Spannung gewachsen ist. Die Erregbarkeit des Muskels, gemessen durch den Rollenabstand, kann nach einer kurzen Verbrühung zunehmen; die Zuckungshöhe und die Spannungsentwicklung nehmen fast ohne Ausnahme ab.

Die andere Art der Verkürzung hat oszillatorischen Charakter und erscheint durchaus unter dem Bilde fibrillärer Zuckungen. Da der Muskel nicht als Ganzes, sondern die einzelnen Fasern desselben in ganz unregelmäßiger Folge in Erregung geraten, ist die Kraft dieser Zuckungen gering; sie sind deshalb nur bei schwacher Spannung gut zu beobachten. Sie treten nur nach kurzdauernden Verbrühungen frischer Muskeln auf, haben demnach zur Voraussetzung, daß neben abgetöteten Faseranteilen sich noch genügend lebenskräftige vorfinden, so daß es zur Ausbildung von Demarkationsströmen kommen kann. Hier handelt es sich also um wirkliche Erregungen, die durch thermische Einwirkung zwar erzielt, aber nicht unmittelbar veranlaßt sind; es liegt vielmehr, wie bei der chemischen Reizung, eine Selbsterregung des Muskels vor, verursacht durch die in ihm auftretenden elektrischen Ströme.

Literaturverzeichnis.

Brodie u. Richardson, Journ. of Phys. XXI, 385 (1897).
v. Frey M., Nagels Handb. der Physiologie Bd. IV, S. 460.
Derselbe, Sitzber. d. phys.-med. Ges. z. Würzburg 1905, 1906.
Gotschlich, Pflügers Archiv Bd. 54, S. 109, 1893.
Jensen P., Zeitschrift f. allg. Phys. VIII, S. 291 (1908) und IX, S. 435 (1909).
Inagaki C., Zeitschrift f. Biol. Bd. 48, S. 313 (1906).
Ludwig C., Zeitschrift f. rat. Medizin VII, S. 189 (1849).
Overton E., Jahrb. f. wiss. Botanik Bd. 34, S. 669 (1900), und Pflügers Archiv Bd. 92, S. 241 (1902).
Reißner M., Dissertation, Würzburg 1905.
Weiß und Carvallo, Pflügers Archiv Bd. 75, S. 591 (1899).
Wundt, Die Lehre von der Muskelbewegung, Braunschweig 1858, S. 66

Lebenslauf.

Ich, Anton Mayer, bayerischer Staatsangehörigkeit, bin geboren am 3. November 1883 zu Lohr a. M. als Sohn des (1904 †) Fleischermeisters Anton Mayer. Nach Besuch der Volksschule und des Progymnasiums Lohr trat ich 1900 in das Gymnasium zu Aschaffenburg über, wo ich mir am 14. Juli 1904 das Reifezeugnis erwarb. Im Oktober gleichen Jahres bezog ich die Universität zu Würzburg, erfüllte meine Dienstpflicht im S.-S. 1905 beim kgl. bayer. 9. Inf.-Reg. »Wrede« und bestand im Frühjahr 1908 die ärztliche Vorprüfung.

Im W.-S. 1908/09 besuchte ich die Universität München, die drei letzten klinischen Semester verbrachte ich wieder in Würzburg, wo ich mich der ärztlichen Staatsprüfung unterzog. Nach Beendigung des Examens trat ich am 28. Dezember 1910 in die medizinische Klinik des Juliusspitals (G.-R. Exz. v. Leube) als Medizinalpraktikant ein, seit 1. Juni 1911 beschäftige ich mich im physiologischen Institut mit experimentellen Studien.

Vorstehende Dissertation habe ich unter Leitung des Herrn Prof. Dr. v. Frey verfaßt.